

PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR SILIKON MATERIAL MODEL *SHAFT PROPELLER* BERBAHAN DASAR AL6063 TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS HASIL PENGECORAN HPDC

*Arkawira Nul Salam¹, A.P Bayuseno²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: arkawirans@gmail.com

Abstrak

Shaft propeller merupakan salah satu bagian terpenting dari instalasi penggerak kapal. *Shaft propeller* dibuat dengan material AL6063 dengan matrix penguat Silikon melalui proses pengecoran. HPDC (*High Pressure Die Casting*) merupakan salah satu metode dalam proses pengecoran yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode pengecoran yang lain. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data nilai porositas, kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro, dan ketahanan korosi produk model *shaft propeller*. Dalam penelitian ini, HPDC dilakukan pada tekanan konstan 7 MPa dan variasi penambahan unsur silikon (Si) 10 wt%, 11 wt%, dan 12 wt%. Uji porositas dilakukan dengan menggunakan hukum Archimedes yaitu menimbang massa basah dan kering spesimen uji. Uji tarik menggunakan *Universal Testing Machine*, uji kekerasan menggunakan metode Rockwell dengan alat *Rockwell Hardness Tester HR 150-A* yang akan dikonversi ke satuan Brinell (HB), dan uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200X. Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa porositas semakin menurun, pada variasi 10% Si porositas sebesar 6,07%, pada variasi 11% Si sebesar 4,96%, pada variasi 12% Si sebesar 3,25%. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan meningkat, pada variasi 10% Si sebesar 82,05 HB, pada variasi 11% Si sebesar 82,55 HB, dan pada variasi 12% Si sebesar 85,95 HB. Hal ini terjadi karena penambahan unsur Si menghasilkan pengendapan Si yang semakin banyak pada paduan. Pengendapan ini mengakibatkan struktur mikro Al-Primer menjadi semakin kecil sehingga semakin sulit mengalami dislokasi.

Kata kunci: HPDC, Porositas, dan Pengendapan.

Abstract

Shaft propeller is one of the most important part of propulsion system of ship. *Shaft propeller* was made with base material AL603 and particles strengthen Silicon material through the casting process. HPDC (*High Pressure Die Casting*) is one of the methods in the casting process which has many advantages over other casting method. This research aims to obtain value of porosity, tensile strength, hardness, microstructure, and corrosion resistance of model *shaft propeller* product. In this research, HPDC performed at a constant pressure of 7 MPa and variation of addition Silikon is 10 wt%, 11 wt% and 12 wt%. Porosity test performed using the Archimedes law that use mass of wet and dry specimen. Tensile Strength test using an *Universal Testing Machine*, Hardness test using Rockwell method using *Rockwell Hardness Tester Typer HR 150-A* that would be converted to Brinell unit (HB), and test the microstructure using an optical microscope with a magnification of 200X. The results of porosity test show that the porosity decreased is obtained for composition Si at 10% Si is 6,07 %, for composition at 11% Si is 4.96 % and for composition at 12% is 3,25 %. The results of hardness test show that the hardness products increasing for composition Si at 10% is 82,05 HB, for composition at 11% is 82,55 HB and for composition at 12% is 85,95 HB. It was occurred because of the addition of Si elements produced more Si precipitated in alloy. This precipitation cause the Al-Primer microstructure declined therefore it was difficult to dislocate.

Key words: HPDC, Porosity, and Precipitated.

1. Pendahuluan

Aluminium mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dsb [1].

Pada bangunan kapal, material baja banyak dipakai pada lambung kapal (*ship hull*), bangunan yang ada di atas geladak/dek (*deck*) kapal yang disebut bangunan atas (*super structures*), rumah geladak (*deck house*) dan juga poros (*shaft*) dari propeller. Shaft propeller merupakan salah satu bagian terpenting dari instalasi penggerak kapal. Putaran mesin ditransmisikan ke propeller melalui poros yang selanjutnya disebut sebagai *shaft propeller*. *Shaft propeller* dibuat sedemikian rupa agar dapat memindahkan tenaga dari transmisi ke *propeller* dengan lembut tanpa dipengaruhi kecepatan putar dan ukuran beban.

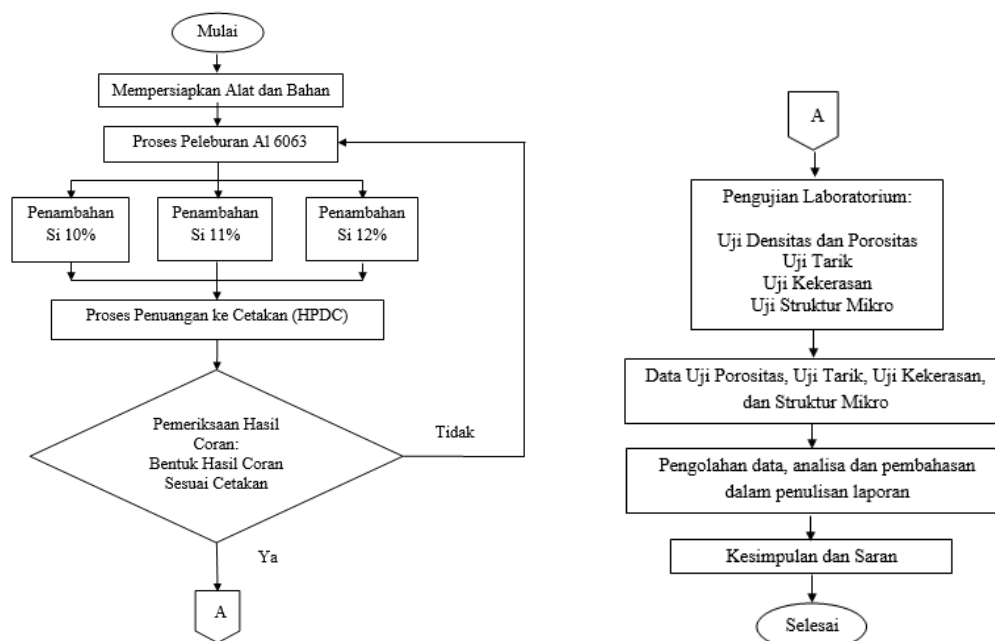
Untuk menghasilkan shaft propeller dengan kualitas yang bagus, desainer propeller kapal harus mempertimbangkan berbagai parameter untuk menghasilkan bentuk, type dan ukuran propeller yang memiliki nilai efektifitas dan efisiensi propulsi tinggi. *Shaft propeller* biasanya terbuat dari baja, namun pada penelitian ini model shaft propeller terbuat dari bahan dasar *Aluminium Alloy*. Material tersebut harus memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik.

Pada penelitian ini akan di teliti sifat fisis dan mekanis serta struktur mikro dari *shaft propeller* dengan bahan dasar *aluminium alloy* dengan penambahan unsur silikon (Si), dimana proses pembentukannya melalui proses HPDC (*High Pressure Die Casting*). Pengujian yang akan dilakukan antara lain pengujian kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan korosi dan struktur mikro. Sehingga penelitian ini diharapkan dapat membuktikan bahwa penambahan unsur silikon dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis *shaft propeller* tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1. Flow chart Penelitian

Pada penelitian ini langkah-langkah pengujian mengacu pada *flowchart* penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2. Karakteristik *Shaft Propeller*

Shaft propeller adalah salah satu komponen penting dalam sistem tenaga penggerak pada sebuah kapal. Dalam prinsip kerjanya *shaft propeller* memindahkan torsi yang dihasilkan dari mesin penggerak ke baling-baling (*propeller*) dan juga gaya aksial dari *propeller* ke *thrust bearing*. Dengan adanya *thrust bearing*, gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller* dapat diteruskan ke badan kapal [2].

Dalam pemilihan material untuk *shaft propeller* tentu dipengaruhi beberapa aspek, salah satunya ialah karakteristik material. Material yang digunakan harus memiliki kekuatan puntir dan ketahanan lelah yang baik, di samping itu juga biaya (*cost*) material dan proses permesinannya sebaiknya terjangkau. Sekarang ini *shaft propeller* untuk kapal bermuatan besar banyak terbuat dari baja karbon sedang (*medium carbon steel*). Baja AISI 1045 ialah salah satu jenis baja karbon sedang yang banyak digunakan sebagai *shaft propeller*, selain karena sifat-sifat mekanis yang dimilikinya cocok untuk dijadikan sebagai poros, juga material ini banyak dipasaran karena sudah cukup banyak digunakan di dunia industri [3]. Contoh *shaft propeller* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Shaft Propeller* Kapal Laut

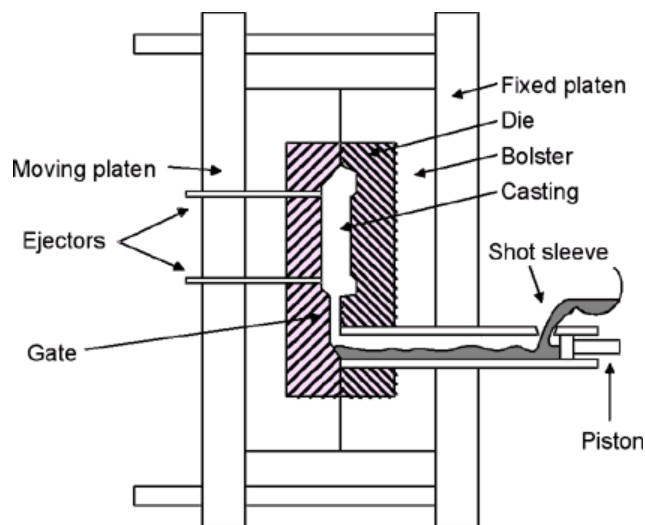
Pada proses pembuatan *shaft propeller*, *raw material* berupa baja silinder pejal harus melewati beberapa proses permesinan sebelum siap dipakai, seperti *forging*, *heat treatment*, *rough machining*, dan terakhir ialah *finishing machining*. Dalam penelitian ini, penulis bertujuan untuk memperoleh material baru berbahan dasar komposit Al6063 dengan penguat partikel Silikon sebagai alternatif untuk mengganti material *shaft propeller* berbahan dasar baja yang masih umum digunakan saat ini.

2.3. High Pressure Die Casting (HPDC)

Pengecoran logam dengan metode *High Pressure Die Casting (HPDC)* adalah metode pengecoran dengan cara menginjeksikan cairan logam ke dalam rongga cetakan dengan kecepatan dan tekanan tertentu menggunakan mesin *HPDC*. Cetakan yang digunakan berbahan dasar baja karbon [4].

High Pressure Die Casting (HPDC) merupakan salah satu jenis dari pengecoran dengan tekanan dimana logam cair dibekukan pada tekanan yang tinggi diantara cetakan (*dies*) dan piston hidrolik pada ruang tertutup. Proses pengecoran ini pada dasarnya mengkombinasikan antara proses pengecoran dan proses penempaan akibat adanya tekanan. Parameter utama proses pengecoran dengan tekanan adalah temperatur ruang, temperatur cetakan, tekanan, komposisi logam cairan, dan volume logam cairan. Pengaruh dari masing-masing parameter tersebut akan mempengaruhi terhadap sifat fisik dan mekanik benda yang dicor seperti ukuran butir, porositas, kekerasan, kekuatan tarik, dan adanya segregasi.

Pada proses HPDC, logam cair diinjeksikan dengan tekanan tinggi hingga masuk ke dalam cetakan. Tampilan skematis pengecoran HPDC dapat dilihat pada Gambar 3. Tekanan yang digunakan biasanya diatas 7 Mpa, dimana peralatannya terdiri dari dua plat vertikal yang terletak saling berhadapan. Dua plat tersebut adalah *fix plat* dan *moveable plat* sehingga cetakan bisa dibuka dan ditutup untuk melepaskan benda hasil coran setelah proses.



Gambar 3. Tampilan Skematis HPDC

2.4. Sifat dan Karakteristik Silikon

Pada penelitian ini, penambahan Silikon (Si) akan dilakukan terhadap paduan aluminium 6063 untuk melihat pengaruhnya terhadap sifat mekanis dan struktur mikro.

Silikon (Latin: *silicium*) merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol Si dan nomor atom 14. Ia merupakan unsur kedua paling berlimpah setelah oksigen di dalam kerak bumi, mencapai hampir 25.7%. Unsur kimia ini ditemukan oleh Jons Jakob Berzelius. Terdapat di alam bentuk tanah liat, granit, kuartza dan pasir, kebanyakan dalam bentuk silikon dioksida (dikenal sebagai silika) dan dalam bentuk silikat.

Silikon adalah polimer nonorganik yang bervariasi, dari cairan, gel, karet, hingga sejenis plastik keras. Beberapa karakteristik khusus silikon seperti, tidak berwarna, tidak kedap air, tidak berbau, serta tidak rusak akibat bahan kimia dan proses oksidasi, tahan dalam suhu tinggi, serta tidak dapat menghantarkan listrik.

Silikon (Si) diperoleh dalam pembentukan komersial biasa dengan reduksi SiO_2 dengan karbon atau CaC_2 dalam tungku pemanas listrik untuk memperoleh kemurnian yang sangat tinggi (untuk digunakan sebagai semikonduktor) unsurnya pertama-tama diubah menjadi klorida, yang direduksi kembali menjadi logam oleh hidrogen suhu tinggi. Setelah pengecoran menjadi batangan kemudian dihaluskan (zone refined).

Batangan logam dipanaskan dekat ujungnya sehingga dihasilkan lempeng bersilang dari lelehan silikon (Si). Karena pengotor lebih larut dalam lelehan tersebut daripada dalam padatannya yang terkonsentrasi dalam lelehan, dan daerah yang meleleh, kemudian bergerak lambat sepanjang batangan dengan pemindahan sumber panas. Hal ini membawa pengotor sampai ke ujung. Proses ini perlu diulang. Ujung yg tidak murni kemudian dipotong [5].

Pemanfaatan silikon pada produksi komponen kendaraan saat ini sangat luas. Penambahan silikon mampu meningkatkan kekuatan dan kekerasan suatu komponen kendaraan, sehingga unsur silikon banyak digunakan sebagai unsur paduan terhadap baja, ataupun aluminium untuk menghasilkan komponen seperti *chassis*, *velg*, sepatu rem, dan lain sebagainya

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan berdasarkan hukum *Archimedes*. Pengujian densitas dilakukan untuk mencari nilai porositas pada spesimen. Peralatan yang digunakan adalah *density meter* merk *Satorius* dengan ketelitian 0.001 gram dan fluida air. Hasil dari pengujian densitas dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Densitas model *Shaft Propeller*

Variasi Si	Al6063 + 10% Si			Al6063 + 11% Si			Al6063 + 12% Si		
Posisi	Kiri	Tengah	Kanan	Kiri	Tengah	Kanan	Kiri	Tengah	Kanan
M _{kering} (g)	4,1	2,68	3,79	4,05	2,98	4,09	4,11	2,85	4,14
M _{basah} (g)	2,5	1,62	2,25	2,43	1,82	2,5	2,52	1,73	2,56
ρ (g/cm ³)	2,56	2,53	2,46	2,50	2,57	2,57	2,58	2,54	2,62
ρ rata-rata (g/cm ³)	2,52			2,55			2,58		
ρ teoritis (g/cm ³)	2,68			2,68			2,67		

Dari hasil pengujian densitas pada spesimen diatas, terlihat bahwa densitas dengan nilai terbesar terdapat pada variasi silikon 12% sebesar 2,58 g/cm³ dan densitas terkecil terdapat pada variasi silikon 10% sebesar 2,52 g/cm³. Hal ini tidak sesuai dengan densitas teoritis dimana pada penambahan silikon nilai densitas akan menurun, sedangkan pada pengujian nilai densitas bertambah, hal ini disebabkan oleh faktor pengecoran yang kurang baik, sehingga aluminium dan silikon tidak tersebar merata dan banyaknya jumlah porositas pada setiap variasi silikon yang berbeda-beda.

3.2 Pengujian Porositas

Perhitungan porositas dilakukan untuk melihat seberapa besar porositas yang dihasilkan pada pengecoran *shaft propeller*. Semakin banyak persen porositas yang dihasilkan semakin buruk material pengecoran yang dibuat karena dapat menurunkan sifat mekanik pada paduan tersebut. Bagian spesimen yang diambil untuk perhitungan porositas sama dengan pengujian densitas yaitu bagian kiri, tengah dan kanan pada spesimen. Perhitungan porositas yang diteliti pada bagian kiri, tengah dan kanan pada spesimen dengan berbagai macam variasi silikon yaitu 10%, 11%, dan 12%. Data hasil perhitungan porositas dapat dilihat pada Tabel 2.

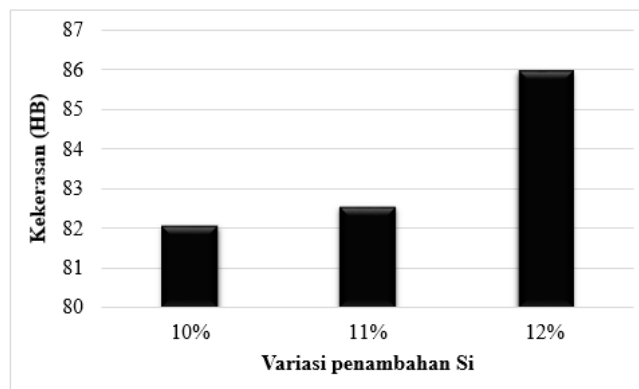
Tabel 2. Data Hasil Perhitungan Porositas model *Shaft Propeller*

Variasi Si	Al6063 + 10% Si			Al6063 + 11% Si			Al6063 + 12% Si		
Posisi	Kiri	Tengah	Kanan	Kiri	Tengah	Kanan	Kiri	Tengah	Kanan
Mkering (g)	4,1	2,68	3,79	4,05	2,98	4,09	4,11	2,85	4,14
Mbasah (g)	2,5	1,62	2,25	2,43	1,82	2,5	2,52	1,73	2,56
ρ (g/cm ³)	2,56	2,53	2,46	2,50	2,57	2,57	2,58	2,54	2,62
ρ rata-rata (g/cm ³)	2,52			2,55			2,58		
Porositas (%)	4,38	5,66	8,17	6,72	4,14	4,02	3,19	4,70	1,86
Porositas rata-rata (%)	6,07			4,96			3,25		
ρ teoritis (g/cm ³)	2,68			2,68			2,67		

Terlihat dari tabel diatas bahwa nilai porositas tertinggi terdapat pada variasi penambahan Si 10 wt% sebesar 6,07% dan porositas terendah terdapat pada variasi penambahan Si 12 wt% dengan nilai porositas sebesar 3,25%. Hal ini membuktikan bahwa semakin dekat nilai densitas aktual pada suatu logam pengecoran maka semakin kecil nilai porositasnya. Penurunan nilai porositas pada penambahan unsur silikon yang lebih banyak disebabkan karena semakin banyak silikon yang ditambahkan, maka *fluiditas* pengecoran akan semakin baik dan laju pembekuan akan semakin merata. Kondisi seperti ini akan menghasilkan jarak struktur mikro yang semakin kecil dan memungkinkan ukuran butir makin halus.

3.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell Hardness Tester Model HR-150A* dengan menggunakan skala F (HRF). Dengan pembebanan 60 kgf dan menggunakan pendentor 1/16" bola baja. Kemudian dikonversi ke satuan *Briell* (HB) mengikuti standar ASTM E140-02. Pengujian dilakukan pada bagian tengah spesimen dari kanan ke kiri sebanyak 10 titik pengujian seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

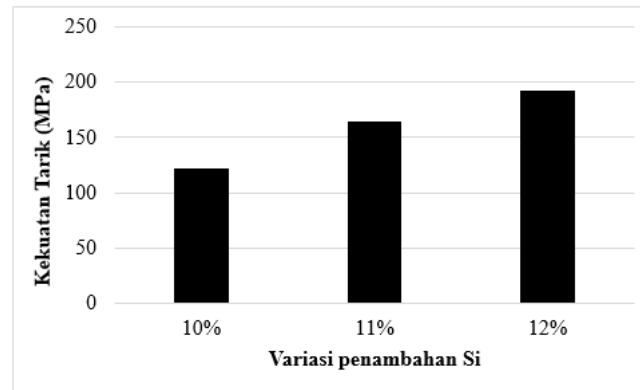


Gambar 4. Grafik Nilai Kekerasan

Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai tertinggi ditunjukkan pada variasi 12 wt% Si yaitu sebesar 86 HB. Dan yang nilai terkecil ditunjukkan pada variasi 10 wt% Si yaitu sebesar 82 HB. Nilai kekerasan yang diperoleh semakin meningkat seiring banyaknya variasi Si yang diberikan, hal ini membuktikan bahwa semakin besar persentase berat Si maka semakin besar pula nilai kekerasannya.

3.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro menggunakan mesin uji tarik dengan model kontrol dan pencatatan data secara otomatis dengan program komputer. Pelaksanaan uji tarik berdasarkan standar ASTM E 8M-04. Spesimen yang disiapkan untuk masing-masing variasi adalah 3 spesimen. Nilai tegangan maksimal hasil uji tarik bisa dilihat langsung pada grafik yang datanya telah tersimpan pada komputer kontrol mesin uji tarik. Grafik hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Tarik

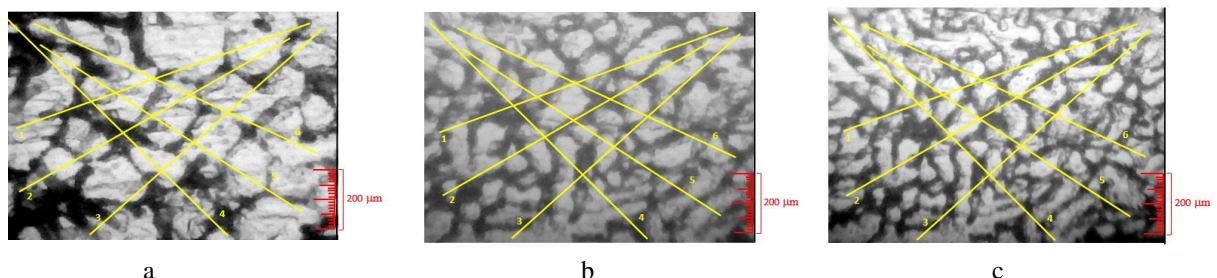
Dari Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik spesimen model *shaft propeller* dengan variasi Si 12 wt% memiliki kekuatan tarik paling tinggi dibanding dengan spesimen model *shaft propeller* dengan variasi 10 wt% dan 11 wt% Si. Spesimen model *shaft propeller* dengan variasi 10 wt% Si memiliki kekuatan 122 MPa. Kekuatan tarik mengalami kenaikan pada penambahan 11 wt% Si menjadi sebesar 165 MPa. Kemudian kekuatan tarik mengalami kenaikan lagi pada variasi 12 wt% Si menjadi sebesar 192 MPa.

Kenaikan variasi penambahan silikon mengakibatkan peningkatan kekuatan tarik, hal ini terjadi karena semakin banyak silikon akan meningkatkan fluiditas pengecoran, sehingga kualitas pengecoran akan semakin baik dengan ditandai penurunan nilai porositas pengecoran.

3.5 Pengujian Mikrografi

Pengujian struktur mikro produk *shaft propeller* hasil HPDC dengan penambahan unsur silikon bertujuan untuk mengetahui bentuk struktur mikro pada variasi penambahan unsur silikon 10 wt%, 11 wt%, dan 12 wt% produk *shaft propeller*. Hasil dari pengujian struktur mikro ini diharapkan dapat memperkuat hasil dari pengujian kekerasan, karena dengan pengamatan struktur mikro dapat terlihat susunan dan struktur kristal paduan yang terbentuk.

Berikut ini adalah hasil hasil pengamatan struktur mikro *shaft propeller* dengan penambahan unsur silikon (Si) menggunakan mikroskop optik perbesaran 200x:



Gambar 6. (a) Variasi 10% Si (b) Variasi 11%Si (c) Variasi 12% Si

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada variasi penambahan 12 wt% Si ukuran butir menunjukkan hasil yang paling kecil. Semakin kecil besar butir, maka susunan butir menjadi lebih rapat dan lebih sulit terjadi dislokasi pada butir, sehingga kekerasan material akan meningkat. Pada variasi penambahan 10wt% Si dan 11 wt% Si menunjukkan nilai ukuran butir yang lebih besar dari ukuran butir pada variasi penambahan 12 wt% Si. Hal ini menyebabkan nilai kekerasannya menjadi lebih rendah karena struktur butir lebih mudah terjadi dislokasi.

3.6 Pengujian Korosi

Pengujian korosi produk *shaft propeller* hasil HPDC dengan penambahan unsur silikon bertujuan untuk mengetahui ketahanan korosi hasil pengecoran dengan cara menghitung massa yang hilang selama pengujian. Perhitungan laju korosi terhadap *shaft propeller* dilakukan dengan mengikuti rumus sebagai berikut.

$$\text{Laju korosi (mm/y)} = \frac{KW}{DAT} \dots \dots \dots (1)$$

dimana : K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$) A = Luas permukaan logam (mm^2)
 W = Kehilangan berat (gram) T = Waktu (detik)
 D = Densitas logam (gr/cm^3)

Dengan menggunakan rumus laju korosi di atas maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui laju korosi terhadap hasil pengecoran pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Laju Korosi

No	Spesimen	Perhitungan massa		Luas Daerah Terkorosi		Waktu (s)	Laju Korosi (mm/y)
		massa awal (gram)	massa akhir (gram)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)		
1	10 wt %	4,8	4,41	10,3	22,6	900	1,55
2	11 wt %	4,65	4,35	10,25	22,1	900	1,07
3	12 wt %	4,93	4,34	10,4	22,3	900	2,35

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa pada variasi penambahan 12 wt% Si laju korosi menunjukkan hasil yang paling tinggi sebesar 0,29 mm/y. Semakin tinggi laju korosi, maka semakin cepat material tersebut mengalami kegagalan. Pada variasi penambahan 10 wt% Si dan 11 wt% Si menunjukkan nilai laju korosi sebesar 0,16 mm/y, 0,13 mm/y.

4. Kesimpulan

Nilai Porositas akan menurun seiring dengan penambahan unsur Si dalam paduan aluminium. Tingkat porositas terendah terdapat pada penambahan 12% Si yaitu sebesar 3,25 %. Sedangkan pada variasi penambahan 10%, dan 11% sebesar 6,07%, dan 4,96%. Namun terjadi kenaikan porositas tanpa penambahan unsur Si yaitu sebesar 4,45%. Hal ini disebabkan oleh kurang baiknya hasil pengecoran saat penambahan Si. Pada tegangan tarik didapatkan nilai penambahan 10% Si sebesar 122 MPa, pada penambahan 11% Si sebesar 165 MPa dan pada penambahan 12% Si sebesar 192 MPa. Kekerasan aluminium akan meningkat seiring dengan penambahan unsur Si. Kekerasan paling tinggi terdapat pada penambahan 12% Si yaitu sebesar 86 HB. Sedangkan pada variasi penambahan 11% dan 10% sebesar 83 HB dan 82 HB. Dari struktur mikro terlihat adanya perbedaan struktur butir seiring variasi penambahan Si. Pertumbuhan butir banyak terbentuk pada material yang diberi variasi terbesar yaitu 12 wt% Si. Dari pengujian ketahanan korosi terlihat penurunan laju korosi pada penambahan Si 11% kemudian mengalami peningkatan pada variasi penambahan SI 12% Laju korosi saat penambahan unsur Si sebanyak 10 wt% sebesar 0,16 mm/y, pada penambahan variasi 11 wt% Si sebesar 0,13 mm/y, sedangkan pada penambahan variasai 12 wt% Si sebesar 0,24%

Daftar Pustaka

- [1] Diyanto, R.I., (2013), Kekerasan dan Struktur Mikro Komposit Aluminium yang Diperkuat Serbuk Besi yang Mengalami Perlakuan, Semarang: Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- [2] Bielawski, Piotr., (2011), *Diagnostic of Marine Propeller Shafts*, Gdansk: The Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology University.
- [3] Sirak, M.Y., Filimonov, G.N., (1985), *Choice of Material for Production of A Ship Propeller Shaft (volume 20)*, Ukraina: Plenum Publishing Corporation.
- [4] Harmanto, Sri., (2012), Pengaruh Tekanan pada Proses HPDC terhadap Kekerasan dengan Material ADC12, Semarang: Universitas Diponegoro.
- [5] Supriyadi, Bambang., (2015), Sifat dan Karakteristik Silikon, Jakarta: Academia.